

Jurnal TEKNIK SIPIL

Analisis Slip Pada Plat Lapis Gedek
(Sri Murni Dewi, Priyo Suprobo, Triwulan)

Pengaruh Lokasi Bukaan Ganda Terhadap Kapasitas Lentur
Dan Geser Balok Beton Bertulang
(Ade Lisantono, Haryanto Yoso Wigroho)

Pengaruh Abu Terbang Sebagai Pengganti Sejumlah Semen Type V Pada Beton Mutu Tinggi
(Surya Sebayang)

Pengembangan Alat Pengolah Limbah Abu Ampas Tebu Menjadi Pozolan
(FX. Nurwadij Wibowo, John Tri Hatmoko, Haryanto Yoso Wigroho)

Stabilitas Numerik Model Numerik Elemen Hingga Petrov-Galerkin
Untuk Penyelesaian Persamaan Angkutan Konveksi-Difusi
(Hartana)

Umpan Balik Keluaran Untuk Kontrol Nonlinier Dengan Gaya Kontrol Terbatas
(Yoyong Arfiadi)

*Road Network Performance And Economic Parameters Using
City/Municipal Data In Sulawesi Province*
(Tri Basuki Joewono, Wimpy Santosa)

Analisis Hubungan Kecepatan Dengan Tebal Helm Yang Direkomendasikan
(Yohannes Lulie, John Tri Hatmoko)

Rencana Tindak (*Action Plan*) Dan Analisa Penyediaan Air Bersih
Di Propinsi Nusa Tenggara Barat
(Oki Setyandito, Yureana Wijayanti, Agung Setyawan)

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

J. Tek. Sip.	Vol. 6	No. 2	Hlm. 97 - 196	Yogyakarta April 2006	ISSN 1411-660X
--------------	--------	-------	------------------	--------------------------	-------------------

Jurnal TEKNIK SIPIL

Jurnal Teknik Sipil adalah wadah informasi bidang Teknik Sipil berupa hasil penelitian, studi kepustakaan maupun tulisan ilmiah terkait. Terbit pertama kali tahun 2000 dengan frekuensi terbit dua kali setahun pada bulan Oktober dan April. (ISSN 1411-660X).

Jurnal Teknik Sipil telah TERAKREDITASI berdasarkan Keputusan Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor : 49/DIKTI/Kep/2003 tanggal 9 Desember 2003.

Ketua Penyunting :

Ir. Imam Basuki, M.T

Penyunting Pelaksana :

Ir. Wulfram Indri Ervianto, M.T

Penyunting Ahli :

Ir. A. Koesmargono, MCM, Ph.D

Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng, Ph.D

Ir. Siti Fatimah RM, M.S

Ir. Poei Eliza Purnamasari, M.Eng

Ir. John Tri Hatmoko, M.Sc

Mitra Bestari Volume 6 :

Ir. Peter F Kaming, M.Eng (Universitas Atma Jaya Yogyakarta)

Dr. Ing. Ir. Agus Maryono (Universitas Gadjah Mada Yogyakarta)

Dr. Ir. Budi Santosa, M.T (Universitas Katolik Sugiyopranoto Semarang)

Dr. Ing. Ir. Danang Parikesit, M.Sc (Universitas Gadjah Mada Yogyakarta)

SA. Kristiawan, ST, M.Sc(Eng), Ph.D (Universitas Sebelas Maret, Surakarta)

Ir. FX. Sugianto, M.Eng, Ph.D (Universitas Katolik Sugiyopranoto Semarang)

Prof. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc, Ph.D (Universitas Gadjah Mada Yogyakarta)

Prof. Ir. Priyo Suprobo, M.Sc, Ph.D, (Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya)

Tata Usaha :

MM. Tri Hesti Andriani

Alamat Penyunting dan Tata Usaha :

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik - Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jl. Babarsari No. 44 Yogyakarta 55281

Telp.(0274) 487711 psw. 1151 Fax.(0274) 487748

E-mail : jurnalsipil@mail.uajy.ac.id

Jurnal Teknik Sipil diterbitkan oleh Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta. **Dekan** : Ir. A. Koesmargono, MCM, Ph.D - **Ketua Program Studi Teknik Sipil** : Dr. Ir. AM Ade Lisantono, M.Eng

J u r n a l TEKNIK SIPIL

DAFTAR ISI

Analisis Slip Pada Plat Lapis Gedek (Sri Murni Dewi, Priyo Suprobo, Triwulan)	97-104
Pengaruh Lokasi Bukaan Ganda Terhadap Kapasitas Lentur Dan Geser Balok Beton Bertulang (Ade Lisantono, Haryanto Yoso Wigroho)	105-115
Pengaruh Abu Terbang Sebagai Pengganti Sejumlah Semen Type V Pada Beton Mutu Tinggi (Surya Sebayang)	116-123
Pengembangan Alat Pengolah Limbah Abu Ampas Tebu Menjadi Pozolan (FX. Nurwadji Wibowo, John Tri Hatmoko, Haryanto Yoso Wigroho)	124-136
Stabilitas Numerik Model Numerik Elemen Hingga Petrov-Galerkin Untuk Penyelesaian Persamaan Angkutan Konveksi-Difusi (Hartana)	137-143
Umpan Balik Keluaran Untuk Kontrol Nonlinier Dengan Gaya Kontrol Terbatas (Yoyong Arfiadi)	144-159
Road Network Performance And Economic Parameters Using City/Municipal Data In Sulawesi Province (Tri Basuki Joewono, Wimpy Santosa)	160-170
Analisis Hubungan Kecepatan Dengan Tebal Helm Yang Direkomendasikan (Yohannes Lulie, John Tri Hatmoko)	171-184
Rencana Tindak (<i>Action Plan</i>) Dan Analisa Penyediaan Air Bersih Di Propinsi Nusa Tenggara Barat (Oki Setyandito, Yureana Wijayanti, Agung Setyawan)	185-196

PENGEMBANGAN ALAT PENGOLAH LIMBAH ABU AMPAS TEBU MENJADI POZOLAN

Fx. Nurwadi Wibowo
John Tri Hatmoko
Haryanto Yoso Wigroho

ABSTRAKSI

Pembuatan beton mutu tinggi memerlukan pozolan dengan kandungan silikat, aluminat dan ferrit yang tinggi serta halus butirannya, sehingga mengubah kapur mati yang lemah menjadi *calcium silicate hydrate* yang kuat dan mengisi rongga diantara butiran semen. Proses pembuatan gula dari tebu akan ada limbahnya, yaitu abu yang belum dimanfaatkan secara khusus. Padahal abu ampas tebu mempunyai kandungan silikat, aluminat dan ferrit yang relatif tinggi bila diolah dengan betul. Oleh karena itu perlu dikembangkan alat untuk mengolah abu ampas tebu menjadi pozolan dan mencari suhu dan lama pembakarannya.

Alat skala laboratorium yang dibuat berhasil memproduksi pozolan dengan prosentase kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ terbesar, yaitu 77,330%, yang diperoleh pada suhu pembakaran 600°C untuk berbagai variasi lama pembakaran. Pembakaran di atas temperatur 700°C tidak efisien, karena abu di dalam silinder pembakar telah menggumpal dan produksi menjadi tidak lancar.

Kata kunci : pozolan, beton mutu tinggi, abu ampas tebu

1. PENDAHULUAN

Beton mutu tinggi diperlukan pada pembangunan gedung pencakar langit, jembatan bentang panjang dan lainnya. Pembuatan beton mutu tinggi memerlukan pozolan sebagai bahan tambah, dimana butiran pozolan yang sangat halus akan mengisi rongga diantara butiran semen portland dan pozolan yang kandungan silikat (SiO_2), aluminat (Al_2O_3) dan ferrit (Fe_2O_3) tinggi akan bereaksi dengan kapur mati $\text{Ca}(\text{OH})_2$ membentuk *calcium silicate hydrate* (CSH) yang kuat. *Silica fume*, abu terbang, abu sekam padi dan terak tanur tinggi merupakan bahan tambah yang dapat digunakan sebagai pozolan. Di Indonesia, abu terbang dan *silica fume* paling banyak digunakan, dan kedua material tersebut harus dibeli, khususnya *silica fume* yang masih diimport dan harganya relatif mahal. Oleh sebab itu pencarian material lokal sebagai pengganti pozolan import perlu dilakukan.

Indonesia merupakan negara agraris penghasil bahan pangan yang besar, seperti padi, tebu dan lainnya, sehingga limbah dari pengolahan bahan tersebut banyak dijumpai. Limbah tebu berbentuk ampas, kemudian digunakan untuk membakar tetes dan sisa pembakarannya berupa abu yang belum digunakan secara khusus, melainkan hanya menjadi limbah dan digunakan sebagai bahan urugan.. Abu ampas tebu asal memiliki kandungan silikat dan kandungan lainnya yang belum memenuhi syarat sebagai pozolan, sehingga perlu diolah agar bermanfaat dan memenuhi syarat sebagai bahan tambah beton mutu tinggi.

Oleh sebab itu perlu dikembangkan alat untuk meningkatkan kandungan silikat, aluminat dan ferrit pada abu ampas tebu, sehingga abu yang merupakan limbah pabrik gula

menjadi material yang mempunyai nilai ekonomi karena bermanfaat sebagai bahan tambah pada pembuatan beton mutu tinggi.

2. PERMASALAHAN DAN BATASAN MASALAH

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang mencari jawaban dalam pembuatan pozolan dari abu ampas tebu, sehingga permasalahannya adalah sebagai berikut :

1. Mungkinkah mengembangkan alat yang dapat digunakan untuk mengolah limbah abu ampas tebu menjadi pozolan ?
2. Pada temperatur berapa diperoleh pozolan dari abu ampas tebu yang terbaik?

Akibat keterbatasan waktu dan biaya, maka penelitian tahun pertama ini perlu dibatasi dan batasan masalahnya dapat dinyatakan sebagai berikut :

1. Abu ampas tebu berasal dari sisa pembuatan gula di Pabrik Gula Madukismo, Yogyakarta.
2. Sumber panas untuk pembakaran abu berasal dari energi listrik.
3. Alat dibuat dalam skala laboratorium.

3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan utama penelitian adalah mengembangkan alat skala laboratorium yang dapat digunakan untuk membakar abu ampas tebu dengan energi yang efisien, sehingga dihasilkan material pozolan yang memenuhi syarat sebagai bahan tambah beton. Alat hasil penelitian yang masih dalam skala laboratorium, diharapkan dapat menjadi model awal untuk pembuatan alat dalam skala industri.

Hasil penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan teknologi beton, yaitu ditemukannya material sebagai pengganti sebagian semen portland dan sebagai bahan tambah pada adukan beton mutu tinggi, yang diharapkan secara langsung mempunyai pengaruh yang positif terhadap kegiatan industri gula, dimana limbah abu ampas tebu yang tadinya tidak bermanfaat menjadi mempunyai nilai ekonomi. Manfaat lainnya adalah mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah tersebut. Selain itu penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya mengenai pozolan, yang berguna untuk mengejar ketertinggalan dalam ilmu material.

4. TINJAUAN PUSTAKA

Pozolan merupakan bahan yang mengandung silikat (SiO_2) dan aluminat (Al_2O_3), yang tanpa atau dengan semen portland, akan membentuk senyawa kalsium silikat dan kalsium aluminat jika dicampur dengan air (*United Stated Departement of The Interior Bereau of Reclamation, 1965*). Pozolan dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu pozolan alam dan pozolan buatan. Pozolan alam terdiri dari abu vulkanik, pumice, tufa dan lain lain. Sedangkan pozolan buatan terdiri dari abu terbang pembakaran batu bara (*fly ash*), abu sekam padi, tras, semen merah, abu ampas tebu dan lain-lain.

Keogh (1981) mempatenkan produk berupa material pozolan yang berasal dari penghancuran, penghalusan dan penyaringan abu dari *sugar mill boiler*, dengan nomor paten

US4249954. Klaimnya adalah abu ampas tebu tidak diproses, material organik yang tidak terbakar dibuang, dan penghalusan ukuran abu sampai luas permukaannya paling sedikit $300\text{m}^2/\text{kg}$.

Abu sekam padi yang didapat dengan mengatur secara sempurna pembakaran sekam padi akan mengandung silikat *amorphous* yang sangat tinggi, yaitu sekitar 88,9% sampai 96,7%. Sedangkan kalau dibakar menggunakan oven standar akan dihasilkan abu dengan kandungan karbon tidak terbakar relatif besar, yaitu 23% (Dalhuisen dkk, 1996). Abu sekam padi cocok digunakan untuk membuat lime-ASP cement, portland ASP blended cement, semen tahan sulfat, dan mereduksi pengembangan beton karena reaksi alkali. Benda uji yang dibuat oleh Dalhusein (1996) dengan kandungan semen portland 260 - 400 kg/m^3 , menghasilkan kuat desak 50 Mpa pada umur 7 hari, 70 Mpa pada umur 28 hari, dan 80 Mpa pada umur 180 hari.

Wibowo (1998) melakukan penelitian awal guna meningkatkan kandungan silikat pada abu ampas tebu dengan cara pembakaraaan yang sangat sederhana. Abu ampas tebu diperoleh dari sisa pembakaran pada pabrik gula Madukismo Yogyakarta yang mempunyai kandungan silikat 16,305%. Setelah diproses ulang dengan dibakar pada temperatur 200 - 300° C selama 2 jam, diperoleh peningkatan kandungan silikat menjadi 62,748%. Meskipun belum memenuhi syarat sebagai pozolan, tetapi penambahan pozolan dari abu ampas tebu sebanyak 20% berat semen portland berhasil meningkatkan kuat desak beton sebesar 27% dibandingkan dengan beton standar pada umur 90 hari. Studi lanjutan berupa pemanasan abu ampas tebu di dalam oven *Thermolyne* tipe FB 1300 selama 2 jam pada temperatur 200, 300, 400, 500, 600, 700, dan 800° C memperoleh kandungan silikat lebih dari 70%. Namun demikian masih ada kandungan yang belum memenuhi syarat, seperti nilai habis pijar yang masih tinggi. Juga telah dilakukan pencampuran abu ampas tebu yang telah diproses ulang dengan material lain guna memperoleh kuat tekan beton yang cukup tinggi pada umur awal betonnya. Selain itu, terak yang ada di dalam limbah abu ampas tebu juga telah diteliti.

Wibowo dan Hatmoko (2001) membuat alat untuk membakar dan menghaluskan abu ampas tebu. Alat pembakarnya terbuat dari silinder stainless steel yang dibakar dari sebelah luar silinder menggunakan kompor gas elpiji tekanan tinggi, dengan temperatur maksimum yang dicapai 800° C. Alat pembakar ini mempunyai kelemahan, antara lain pengaturan temperatur dilakukan secara manual, energi panasnya banyak yang terbuang, dan pipa stainless steel berubah bentuk akibat panas sehingga produksi pozolan terhambat. Sedangkan alat penghalusnya masih mengalami kebocoran sehingga sebagian pozolan yang telah dihaluskan terbuang.

Berdasarkan studi-studi awal yang telah dilakukan tampak bahwa pozolan merupakan material yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada beton dan berhasil meningkatkan kekuatan beton. Oleh karena itu perlu dikembangkan alat yang dapat digunakan untuk mengubah limbah abu ampas tebu menjadi pozolan yang bermanfaat sebagai bahan tambah pada pembuatan beton mutu tinggi.

5. METODE PENELITIAN

Penelitian dikonsentrasikan pada pengembangan desain dan pembuatan alat pembakar abu ampas tebu, pembakaran abu, pengujian kandungan kimia, dan produksi awal pozolan. Pada penelitian tahun pertama ini dibagi menjadi empat tahap, yaitu:

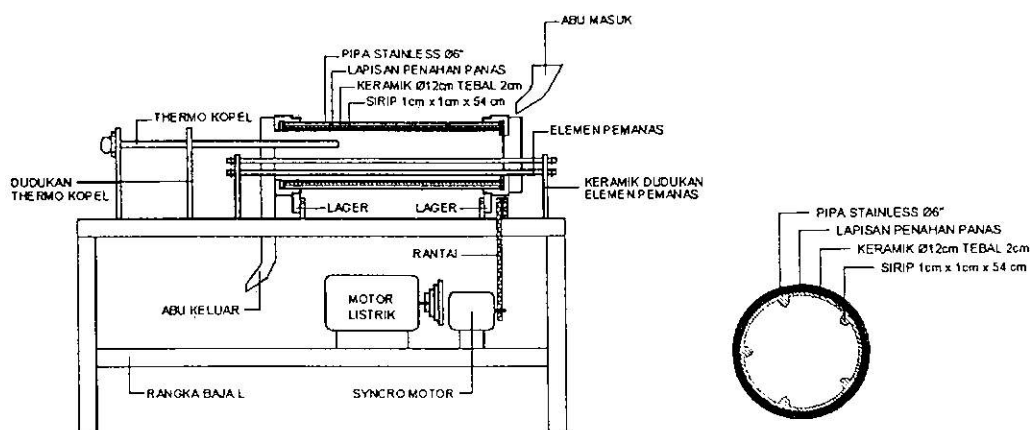
- 1). *Tahap pertama* adalah studi pustaka mengenai pozolan dan peningkatan kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 , dan pengurangan kandungan yang tidak bermanfaat. Juga studi pustaka mengenai alat dan bahannya yang dapat digunakan untuk membakar abu ampas tebu dalam suhu tinggi, dilanjutkan pembuatan alat-alat yang akan digunakan.

- 2). *Tahap kedua*. Pada tahap ini dibuat alat pembakar dan percobaan pembakaran abu pada berbagai temperatur dan lama pembakaran. Alat pembakar direncanakan terdiri dari : bagian terluar berupa silinder *stainless steel*, bagian terdalam silinder keramik, sedangkan diantara keramik dengan tabung *stainless steel* dilapisi kapas tahan api agar tidak banyak energi yang terbuang. Elemen pemanas berupa kawat nikelin dipasang di dalam silinder keramik. Pengontrol temperatur menggunakan thermokopel yang dihubungkan ke alat pengontrol temperatur. Temperatur pembakaran direncanakan mulai dari suhu 200° C sampai 800°C dengan interval 100° C, dengan kemiringan silinder 4 cm, 8cm dan 12 cm. Hal ini dimaksudkan supaya terjadi perbedaan kecepatan aliran abu di dalam alat pemanas, sehingga waktu pembakaran abu akan berbeda-beda. Dengan demikian diperoleh sebanyak $7 \times 3 = 21$ buah variasi pozolan dari abu ampas tebu.
- 3). *Tahap ketiga* adalah pengujian komposisi kimia dari 21 buah sampel tersebut di laboratorium untuk mengetahui prosentase unsur-unsur yang dikandung di dalamnya. Unsur unsur yang perlu diketahui adalah : silikat (SiO_2), aluminat (Al_2O_3), ferrit (Fe_2O_3), natrium oksida (Na_2O), kalsium oksida (CaO), hilang pijar, sulfat (SO_3).
- 4). *Tahap keempat* berupa analisis hasil pengujian dan mencari kelemahan-kelemahan yang masih ada guna perbaikan alat pada penelitian berikutnya.

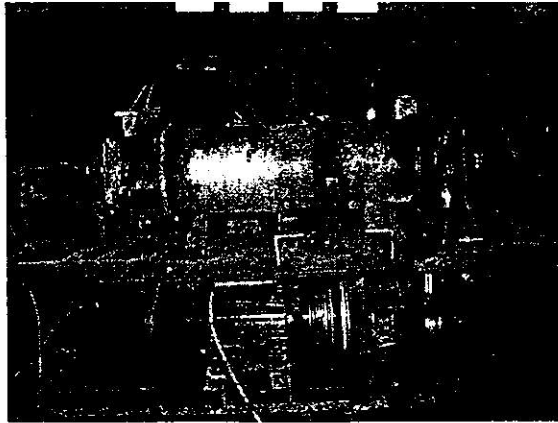
6. HASIL DAN PEMBAHASAN

6.1. Alat Pembakar

Gambar 1 sebelah kiri memperlihatkan potongan memanjang dari alat pembakar yang merupakan hasil desain dari tinjauan pustaka dan diskusi yang telah dilakukan. Potongan melintang silinder pembakar yang terdiri atas pipa *stainless steel* diameter 6 inchi, kapas tahan api sebagai lapisan penahan panas dan silinder keramik bersirip dengan diameter 12 cm dan tebal 2 cm dapat dilihat pada Gambar 1 sebelah kanan. Berdasarkan gambar desain ini, kemudian dibuat alat pembakar sebagaimana tampak pada foto dalam Gambar 2.



Gambar 1. Potongan alat pembakar dan penampang melintang silinder pembakar

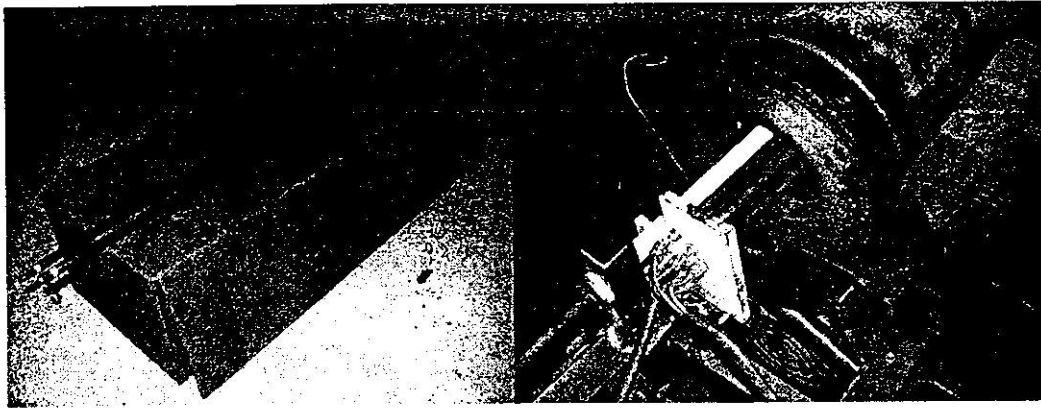


Gambar 2. Foto tampak samping alat pembakar

6.2. Komponen Alat Pembakar

Alat pembakar abu ampas tebu terdiri dari lima bagian utama, yaitu: tabung pemanas, elemen pemanas, kontrol temperatur, motor listrik/penggerak, danudukan alat.

1. **Tabung pemanas** terdiri dari tiga lapis. Lapisan paling luar terbuat dari *stainless steel* dengan diameter luar 15,24 cm, panjang 60 cm. Bahan *stainless steel* digunakan karena memiliki titik leleh diatas 1000°C dan tahan karat. Lapisan paling dalam adalah keramik dengan diameter 12 cm dan ketebalan 2 cm, dilengkapi dengan sirip ukuran 1 cm x 1 cm x 54 cm. Sirip tersebut dimaksudkan agar dapat mengaduk abu yang ada di dalam tabung pemanas. Guna meredam panas agar tidak terbang dan temperatur pada *stainless steel* tidak terlalu tinggi, maka diantara tabung keramik dengan *stainless steel* dilapisi kapas tahan panas dengan ketebalan 1 cm.
2. **Elemen pemanas** terbuat dari kawat nikelin. 4 buah kawat nikelin yang ditempatkan dalam tabung pemanas, dimana ujung-ujung elemen nikelin, yang ditumpu oleh keramik, dihubungkan oleh kabel tahan panas ke sumber tegangan listrik. Pada Gambar 3, foto sebelah kiri memperlihatkan elemen pemanas.
3. **Pengontrol temperatur** terdiri dari termokopel yang dimasukkan dalam tabung pemanas sebagaimana tampak pada Gambar 3, foto sebelah kanan dengan *compact microprocessor controller* tipe B703030, merek JUMO buatan Jerman sebagaimana tampak pada Gambar 4. Alat kontrol temperatur ini dapat digunakan untuk mengontrol suhu sampai dengan 1500°C .
4. **Motor Listrik** ini dilengkapi dengan kotak roda gigi pengurang kecepatan putaran agar supaya kecepatan putar mesin dapat diatur. Roda gigi pengurang kecepatan tersebut dihubungkan dengan rantai ke tabung pemanas, sehingga tabung pemanas akan berputar sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Bagian bawah dari Gambar 3 memperlihatkan motor listrik yang dipasang di alat pemanas.
5. **Dudukan alat.** Dudukan alat ini terdiri dari : Pertama adalah dudukan motor listrik dan dudukan kotak roda gigi pengurang kecepatan putaran sekaligus sebagai dudukan tabung pemanas sebagaimana tampak pada Gambar 2. Bahan dudukan ini terbuat dari baja biasa berbentuk siku dengan panjang 1,10 meter dan tinggi 0,50 meter. Kedua adalah dudukan termokopel. Ketiga adalah dudukan elemen-elemen pemanas yang terbuat dari keramik.



Gambar 3. Foto elemen penghasil panas dan thermokopel yang terpasang di dalam silinder



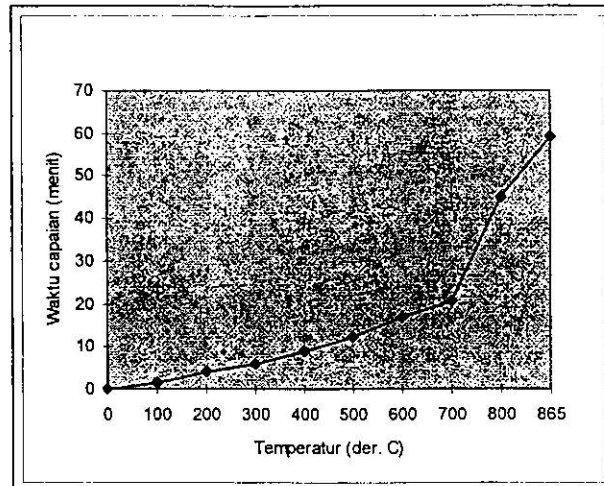
Gambar 4. Foto Compact microprocessor controller JUMO tipe B703030

6.3. Cara Kerja Alat

Listrik digunakan untuk menggerakkan motor listrik dan elemen pemanas. Alat pengontrol temperatur diatur agar diperoleh suhu yang diinginkan. Awalnya suhu di set maksimum 200°C , dudukan alat pemanas dimiringkan dengan kemiringan 4 cm, 8 cm dan 12 cm. Abu ampas tebu dimasukkan melalui lobang masukan, karena berat sendirinya dan putaran alat, abu akan keluar melalui lobang keluaran. Proses pembakaran secara bertahap ditingkatkan sampai suhu 800°C . Temperatur bagian luar silinder *stainless steel* juga diukur dengan thermometer digital pengukur suhu tinggi, untuk mengetahui perbedaan temperatur antara bagian dalam dengan bagian luar silinder pemanas.

6.4. Waktu Capaian Untuk Mencapai Temperatur Tertentu

Pada saat suhu mencapai lebih dari 700°C , abu sulit keluar dari dalam alat pemanas, karena pada abu mulai menggumpal, sehingga aliran abu tertahan dan menempel di elemen pemanas. Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara temperatur dan waktu capaian, dimana mulai temperatur 700°C kurva naik dengan tajam, yang berarti diperlukan waktu yang relatif lama untuk menaikkan temperatur.



Gambar 5. Hubungan antara temperatur dan waktu capaian

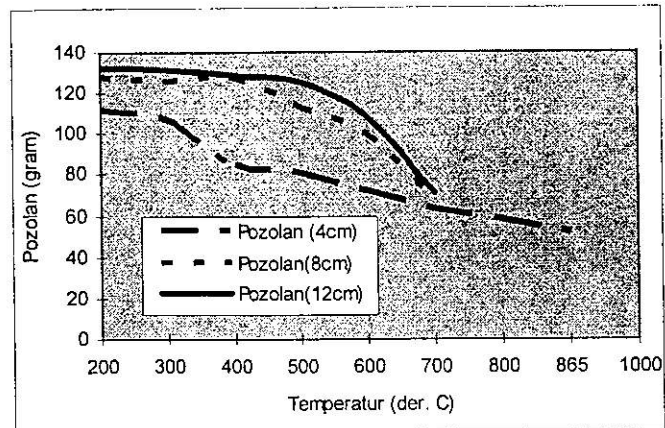
6.5. Hasil Pembakaran

Abu ampas tebu dengan berat tertentu dimasukkan melalui intake ke dalam alat pembakar yang dimiringkan dengan beda tinggi 4cm, 8cm dan 12 cm., kemudian dihitung lama pembakaran untuk setiap kemiringan dan ditimbang berat abu setelah dibakar. Gambar 6 memperlihatkan hubungan antara pozolan yang dihasilkan dengan suhu pembakaran. Pozolan yang dihasilkan ternyata berbeda beda beratnya untuk masing-masing kondisi. Hal ini disebabkan oleh hilangnya unsur-unsur tertentu yang terkandung di dalam abu atau karena menempelnya sebagian abu yang sudah terbakar pada dinding silinder maupun pada selimut elemen-elemen pemanas.

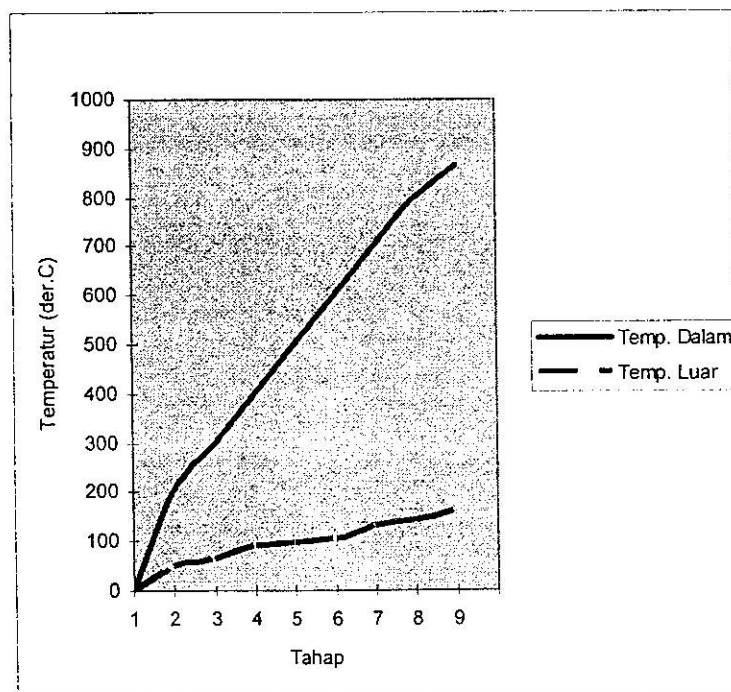
Pada gambar 6 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur pembakaran, pozolan yang dihasilkan semakin sedikit, hal ini disebabkan oleh berubahnya abu menjadi gas yang dikenal sebagai hilang pijar. Kemudian dengan semakin besar beda ketinggian antara ujung-ujung silinder pemanas, semakin banyak pozolan yang dihasilkan, hal ini disebabkan oleh kemudahan aliran abu oleh berat sendirinya.

Gambar 7 memperlihatkan perbedaan temperatur di dalam silinder pembakar dan di luarnya. Pada saat suhu di dalam silinder mencapai 865°C, suhu di sebelah luar silinder *stainless steel* sebesar 190°C. Perbedaan suhu yang relative tinggi ini memperlihatkan bahwa isolasi panas yang menggunakan kapas tahan api cukup berhasil, sehingga energi panas yang terbuang relative sedikit.

Abu ampas tebu Pabrik Gula Madukismo, Bantul, DIY belum memenuhi syarat jika digunakan sebagai pozolan, karena hilang pijarnya 30,27% diatas syarat maksimal 6%, dan total kandungan kimiawi $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 53,65\%$ dibawah persyaratan minimal sebesar 70%. Hasil uji yang dikerjakan Balai Penyelidikan Dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian pada abu ampas tebu asli dapat dilihat pada tabel 1, yang memperlihatkan bahwa abu ampas tebu asli belum dapat secara langsung digunakan sebagai pozolan, karena belum memenuhi syarat. Oleh sebab itu abu tersebut perlu olah, yaitu dengan dibakar ulang.



Gambar 6. Hubungan pozolan yang dihasilkan dengan suhu pembakaran



Gambar 7. Perbandingan suhu di dalam silinder dan di luar silinder

Guna mencari temperatur pembakaran yang terbaik, dilakukan pembakaran mulai dari temperatur 200°C sampai 800°C dengan interval 100°C. Pada setiap terminal temperatur kemiringan alat diatur dengan beda ketinggian antara ujung-ujung tabung pemanas sebesar 4cm, 8cm, dan 12 cm, sehingga jumlah pembakaran yang dilakukan adalah sebanyak $3 \times 7 = 21$ kali pembakaran. Hasil analisis kimiawi abu hasil pembakaran dapat dilihat pada tabel 2 sampai dengan tabel 8.

Tabel 1. Hasil Analisis Kimia Abu Ampas Tebu Asli

No	Unsur Kimia	Syarat ASTM (1996)	Syarat SK SNI S-15-1990-F	Abu Ampas tebu Asal	Keterangan
1	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	≥ 70%	≥ 70%	53,65%	Melanggar
2	SO ₃	≤4%	≤5%	0,21%	Memenuhi
3	H ₂ O	≤3%	≤3%	4,25%	Melanggar
4	Hilang Pijar	≤10%	≤6%	30,27%	Melanggar
5	Na ₂ O	≤1,5%	≤1,5%	0,38%	Memenuhi

Tabel 2. Hasil Analisis Kimia Abu Ampas Tebu setelah dibakar pada Suhu 200°C

No	Unsur Kimia	Syarat ASTM	Syarat SNI	Beda tinggi antar ujung tabung			Rerata	Keterangan
				4 cm	8 cm	12 cm		
1	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	≥ 70%	≥ 70%	62,46%	57,69%	58,61%	59,59%	Melanggar
2	SO ₃	≤4%	≤5%	0,36%	0,34%	0%	0,23%	O.K
3	H ₂ O	≤3%	≤3%	3,04%	2,41%	3,36%	2,94%	O.K
4	Hilang Pijar	≤10%	≤6%	19,54%	21,24%	23,13%	21,3%	Melanggar
5	Na ₂ O	≤1,5%	≤1,5	0,64%	0,66%	0,63%	0,64%	O.K

Tabel 3. Hasil Analisis Kimia Abu Ampas Tebu setelah dibakar pada Suhu 300°C

No	Unsur Kimia	Syarat ASTM	Syarat SNI	Beda tinggi antar ujung tabung			Rerata	Keterangan
				4 cm	8 cm	12 cm		
1	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	≥ 70%	≥ 70%	61,22%	64,51%	58,12%	61,28%	Melanggar
2	SO ₃	≤4%	≤5%	0%	0%	0%	0%	O.K
3	H ₂ O	≤3%	≤3%	2,77%	2,87%	3,39%	3,01%	O.K
4	Hilang Pijar	≤10%	≤6%	20,52%	21,28%	28,95%	23,58%	Melanggar
5	Na ₂ O	≤1,5%	≤1,5	0,80%	0,75%	0,36%	0,64%	O.K

Tabel 4. Hasil Analisis Kimia Abu Ampas Tebu setelah dibakar pada Suhu 400°C

No	Unsur Kimia	Syarat ASTM	Syarat SNI	Beda tinggi antar ujung tabung			Rerata	Keterangan
				4 cm	8 cm	12 cm		
1	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	≥ 70%	≥ 70%	72,21%	72,34%	70,56%	71,70%	O.K
2	SO ₃	≤4%	≤5%	0,26%	0,79%	0,23%	0,427%	O.K
3	H ₂ O	≤3%	≤3%	2,36%	2,48%	2,30%	3,01%	O.K
4	Hilang Pijar	≤10%	≤6%	14,14%	13,67%	14,02%	13,94%	Melanggar
5	Na ₂ O	≤1,5%	≤1,5	0,75%	0,38%	0,70%	0,61%	O.K

Tabel 5. Hasil Analisis Kimia Abu Ampas Tebu setelah dibakar pada Suhu 500°C

No	Unsur Kimia	Syarat ASTM	Syarat SNI	Beda tinggi antar ujung tabung			Rerata	Keterangan
				4 cm	8 cm	12 cm		
1	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	≥ 70%	≥ 70%	76,39%	65,89%	63,57%	68,62%	Melanggar
2	SO ₃	≤4%	≤5%	0,26%	0,00%	0,00%	0,083%	O.K
3	H ₂ O	≤3%	≤3%	1,18%	1,38%	1,95%	1,50%	O.K
4	Hilang Pijar	≤10%	≤6%	10,21%	12,06%	18,20%	13,49%	Melanggar
5	Na ₂ O	≤1,5%	≤1,5	0,40%	0,40%	0,44%	0,41%	O.K

Tabel 6. Hasil Analisis Kimia Abu Ampas Tebu setelah dibakar pada Suhu 600°C

No	Unsur Kimia	Syarat ASTM	Syarat SNI	Beda tinggi antar ujung tabung			Rerata	Keterangan
				4 cm	8 cm	12 cm		
1	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	≥ 70%	≥ 70%	73,87%	77,33%	80,79%	77,33%	O.K
2	SO ₃	≤4%	≤5%	0,11%	0,16%	0,10%	0,12%	O.K
3	H ₂ O	≤3%	≤3%	2,25%	1,28%	0,32%	1,28%	O.K
4	Hilang Pijar	≤10%	≤6%	16,99%	11,95%	4,40%	11,11%	Melanggar
5	Na ₂ O	≤1,5%	≤1,5	0,38%	0,40%	0,46%	0,41%	O.K

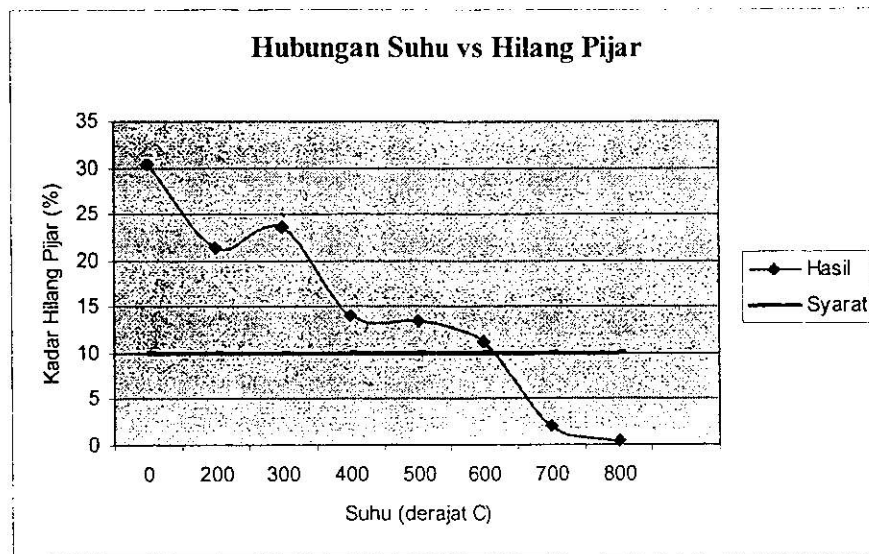
Tabel 7. Hasil Analisis Kimia Abu Ampas Tebu setelah dibakar pada Suhu 700°C

No	Unsur Kimia	Syarat ASTM	Syarat SNI	Beda tinggi antar ujung tabung			Rerata	Keterangan
				4 cm	8 cm	12 cm		
1	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	≥ 70%	≥ 70%	74,12%	72,00%	65,18%	70,43%	O.K
2	SO ₃	≤4%	≤5%	0,00%	0,30%	0,42%	0,24%	O.K
3	H ₂ O	≤3%	≤3%	0,19%	0,24%	0,15%	0,19%	O.K
4	Hilang Pijar	≤10%	≤6%	0,59%	2,53%	3,06%	2,06%	O.K
5	Na ₂ O	≤1,5%	≤1,5	0,38%	0,42%	0,41%	0,40%	O.K

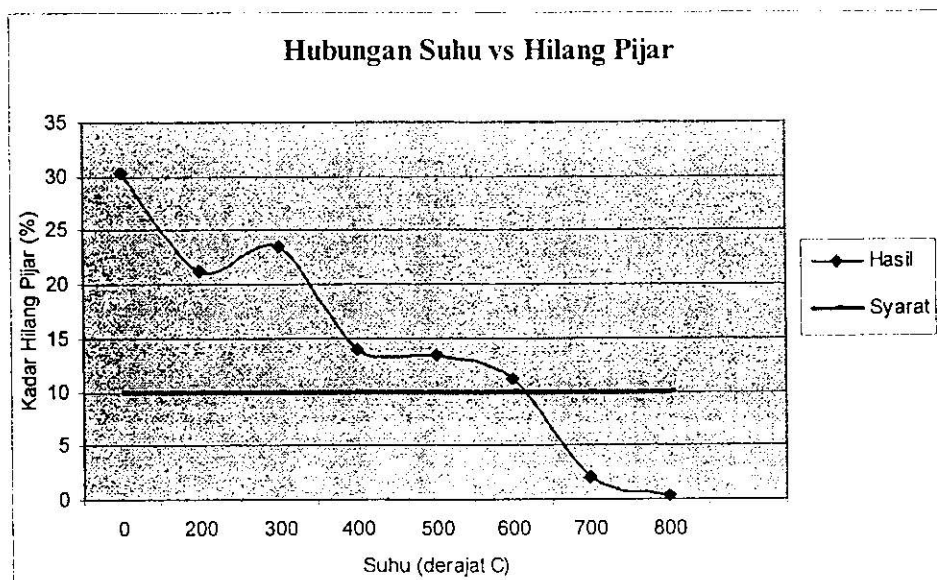
Tabel 8. Hasil Analisis Kimia Abu Ampas Tebu setelah dibakar pada Suhu 800°C

No	Unsur Kimia	Syarat ASTM	Syarat SNI	Beda tinggi antar ujung tabung			Rerata	Keterangan
				4 cm	8 cm	12 cm		
1	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	≥ 70%	≥ 70%	72,48%	77,90%	71,38%	73,92%	O.K
2	SO ₃	≤4%	≤5%	0,45%	0,00%	0,37%	0,27%	O.K
3	H ₂ O	≤3%	≤3%	0,09%	0,08%	0,06%	0,076%	O.K
4	Hilang Pijar	≤10%	≤6%	0,48%	0,21%	0,42%	0,37%	O.K
5	Na ₂ O	≤1,5%	≤1,5	0,44%	0,43%	0,23%	0,37%	O.K

Gambar 8 menunjukkan grafik hubungan antara temperatur dengan kadar $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ dan gambar 9 memperlihatkan hubungan antara temperatur dengan prosentase hilang pijar. Kurva pada gambar 8 menunjukan bahwa kandungan $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ terbesar diperoleh pada temperatur pembakaran 600°C . Kurva pada gambar 9 memperlihatkan bahwa pada temperatur sedikit di atas 600°C prosentase hilang pijarnya sudah di bawah 10 %.



Gambar 8. Hubungan Antara Suhu dengan Kadar $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$



Gambar 9. Hubungan antara suhu dengan Hilang Pijar

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa kandungan unsur $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ maksimum sebesar 77,33% diperoleh pada temperatur pembakaran 600°C , tetapi melanggar syarat hilang pijar. Meskipun demikian, pembakaran pada suhu 600°C paling potensial karena kandungan $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ paling besar dan pemenuhan syarat hilang pijar relatif mudah ditangai. Pozolan hasil pembakaran abu ampas tebu pada temperatur $\geq 700^\circ\text{C}$ telah memenuhi

semua syarat, tetapi proses pembakaran tidak lancar karena adanya penggumpalan abu di dalam silinder.

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Wibowo, 1998) dan (Wibowo dan Hatmoko, 2001) syarat yang paling sulit dipenuhi dan yang paling menentukan kekuatan beton adalah jumlah kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$. Oleh karena itu perhatian utama adalah pada total kandungan ketiga unsur tersebut. Tabel 6 memperlihatkan prosentase kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ terbesar adalah pada pembakaran 600°C . Hal ini mendekati dengan penelitian sebelumnya (Wibowo & Hatmoko, 2001) yang menemukan temperatur terbaik pada 550°C , sehingga pada penelitian selanjutnya perlu dicoba pembakaran pada temperatur antara 500°C sampai 650°C dengan beda temperature $\leq 50^\circ\text{C}$ sebelum melakukan produksi pozolan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat pembakar abu ampas tebu yang dibuat pada penelitian ini, yang menggunakan listrik sebagai sumber energi, ternyata lebih efisien dibandingkan dengan alat yang menggunakan sumber panas dari kompor gas tekanan tinggi yang telah dibuat oleh Wibowo dan Hatmoko (2001). Ini disebabkan energi panasnya dapat terkonsentrasi di dalam silinder pembakar dan panas yang terbuang relatif sedikit. Hal tersebut tampak pada perbedaan temperatur di dalam dan di luar silinder yang cukup besar.

7. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa kesimpulan pokok sebagai berikut :

1. Penelitian ini telah berhasil mengembangkan alat dalam skala laboratorium yang dapat digunakan untuk mengolah limbah abu ampas tebu menjadi pozolan.
2. Prosentase kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ terbesar diperoleh pada suhu pembakaran 600°C , yang dekat dengan penelitian sebelumnya, yaitu pada temperatur 550°C .
3. Pembakaran mulai temperatur $\geq 700^\circ\text{C}$ tidak efisien, karena abu di dalam silinder pembakar telah menggumpal sehingga aliran abu menjadi tidak lancar.
4. Isolasi menggunakan kapas tahan api berhasil meredam panas, sehingga energi panas yang terbuang relative sedikit. Hal ini tampak bahwa pada saat suhu di dalam silinder mencapai 865°C , suhu di sebelah luar silinder sebesar 190°C .
5. Sumber panas yang ada di dalam silinder alat pemanas lebih efisien dibandingkan dengan pembakaran dari luar silinder.
6. Alat hasil penelitian pada tahap ini masih perlu disempurnakan, khususnya pada rantai pemutar yang boros pelumas dan kawat mikelin yang kurang tahan lama.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C618-96, 1996, *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete*, Annual Book of ASTM Standards, p. 293 – 295, West Conshohocken, PA, USA.
- Dalhuisen, D.H., Stroeve, P., Bui, D.D. dan Quy, N.T., 1996, *Replacement Of Condensed Silica Fume By Rice Husk Ash For The Production Of High Strength Concrete In Developing Countries*, 4th International Symposium Of Utilization Of High-Strength/High-Performance Concrete, Paris.
- DPU, 1990, SK SNI S-15-1990-F, *Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan Untuk Campuran Beton*, Yayasan LPMB, Bandung.

- Keogh, B.T., 1981, Paten nomor : US4249954, *Pozzolan Product Produced From Bagasse Ash*.
- United States Department Of The Interior Bureau Of Reclamation, 1965, *Concrete Manual*, Oxford & IBH Publishing CO, New Delhi.
- Wibowo, F.X.N., 1998, Laporan Studi : *Peningkatan Kandungan SiO₂ Abu Ampas Tebu dan Efeknya pada Kuat Desak Beton*, Fak. Teknik, UAJY.
- Wibowo, F.X.N., dan Hatmoko, J.T., 2001, *Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Sebagai Bahan Tambah Beton Mutu Tinggi*, Laporan Akhir Penelitian Domestic Collaborative Research Grant, Kontrak no. 057/DCRG/URGE/2000.

UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini merupakan hasil penelitian tahun pertama yang didanai dari riset Hibah Pekerti dengan Tim Peneliti Mitra dari Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada. Pelaksanaan pembakaran abu ampas dilakukan di laboratorium bahan dan konstruksi teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Studi pustaka, desain alat pembakar dan diskusi dilakukan di Universitas Atma Jaya Yogyakarta dan Universitas Gajah Mada. Pembuatan silinder keramik tahan panas tinggi dilakukan di bengkel keramik Pusat Pendidikan Guru di Kaliurang, sedang perakitan, pengelasan dan lain-lain untuk membuat alat pemanas dilakukan di bengkel Pirus Yogyakarta. Alat-alat presisi tinggi seperti pembaca temperatur, pengatur arus listrik, kabel pemanas, kapas tahan api dan lain-lain adalah buatan Jerman. Pengujian abu hasil pembakaran dikerjakan oleh Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian Yogyakarta. Terima kasih yang tak terhingga disampaikan kepada :

1. Direktorat Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat, DIKTI, yang telah mendanai penelitian Hibah Pekerti ini, sesuai dengan kontrak no. 083/P4T/DPPM/HPTP.
2. Ir. R. Soekrisno, MSME, Ph.D. dan Ir. Henricus Priyosulistyo, M.Sc., Ph.D. dari Universitas Gajah Mada Yogyakarta sebagai Tim Peneliti Mitra, yang telah berkenan membimbing dan membantu pelaksanaan penelitian.

RIWAYAT PENULIS

Dr. Ir. FX. Nurwadi Wibowo, M.Sc, adalah staf pengajar pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Ir. John Tri Hatmoko, M.Sc, adalah staf pengajar pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Ir. Haryanto Yoso Wigroho, M.T., adalah staf pengajar pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.